

ХОЛМОГорова Надежда Владимировна

**ТРАНСФОРМАЦИЯ ФАУНЫ МАКРОЗООБЕНТОСА
МАЛЫХ РЕК УДМУРТИИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ
ФАКТОРОВ НЕФТЕДОБЫЧИ**

03.00.16 - экология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Казань – 2009

Работа выполнена на кафедре общей экологии ГОУ ВПО
«Удмуртский государственный университет» (г. Ижевск)

Научный руководитель: кандидат биологических наук,
доцент Зубцовский Николай Егорович

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор
Мингазова Нафиса Мансуровна

кандидат биологических наук
Кондратьева Татьяна Анатольевна

Ведущая организация: Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения РАН

Защита состоится 5 февраля 2009 г. в 14-30 час. на заседании диссертационного совета № ДМ 212.081.19 при Казанском государственном университете по адресу: 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18.

Факс: (843) 238-71-21

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке им.
Н.И. Лобачевского Казанского государственного университета

Автореферат разослан 5 января 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат биологических наук

Зелеев Р.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. На территории Республики Удмуртия (УР) уже более 35 лет ведется промышленная добыча нефти. По данным Министерства топлива, энергетики и связи УР в настоящее время существует 118 месторождений (Лазарева, 2007).

При аварийных утечках нефть и пластовые воды часто попадают в водную среду, в которой они способны распространяться на многие сотни километров (Богатов, Морозова, 1984). Значительная часть углеводородов при попадании в водоемы и водотоки оседает на дно, где сохраняется в течение нескольких месяцев и даже лет. Следовательно, седиментированные фракции нефти вместе с различными примесями являются источником мощного токсического действия для донных организмов.

По мнению многих специалистов (Абакумов, Качалова, 1981; Андрушайтис и др., 1981; Алимов, 1986; Баканов, 1999; Лоскутова, Батурина, 2001; Ильяшук, 2002; An assessment..., 1987; Alonso, 2006), макрозообентос, как относительно долгоживущий и малоподвижный компонент гидробиоценоза, наиболее точно отражает степень загрязнения, особенно хронического.

Существует ряд работ по влиянию нефтепродуктов на организмы макрозообентоса (Богатов, Морозова, 1984; Михайлова и др., 1986; Кравцова и др., Лукин и др., 2000; Батурина, 2001; Лоскутова и др., 2001; Воробьев, 2003; Томилина и др., 2003; Исаченко-Боме, 2004, 2005 и др.), однако полученные результаты сильно различаются в зависимости от региона, характеристик биотопов и используемых методов оценки воздействия. На территории УР подобная работа проводится впервые.

Цель настоящей работы – оценить изменение качественных и количественных характеристик макрозообентоса малых рек Удмуртии под воздействием нефтедобычи.

Основное внимание было сосредоточено на решении следующих задач:

- 1) определить таксономический состав и распределение макрозообентоса малых рек по биотопам;
- 2) проследить динамику показателей численности и биомассы макрозообентоса;
- 3) изучить влияние факторов нефтедобычи (нефтяных углеводородов, высокоминерализованных пластовых вод, строительства нефтеловушек) на количественный и качественный состав макрозообентоса малых рек;

4) оценить состояние донных сообществ малых рек Лоза, Нязь, Вотка и др. с использованием биоиндикационного подхода;

5) оценить взаимосвязь между гидробиологическими и химическими показателями (вода, донные отложения) малых рек.

Научная новизна. Впервые установлен таксономический состав макрозообентоса р. Лоза (178 видов), р. Нязь (204), р. Вотка (122). Всего на малых реках Удмуртии зарегистрировано 355 видов и таксонов более высокого ранга макрозообентоса. Обнаружены три новых для Удмуртии вида жесткокрылых из семейства Elmidae (Дедюхин, Холмогорова, 2006). Впервые для УР описаны изменения, происходящие в структуре макрозообентоса на разных типах донных грунтов в связи с изменением химического состава воды и донных отложений, проведена оценка качества воды с помощью методов биоиндикации, проведена оценка воздействия нефтедобывающего комплекса на фауну макрозообентоса.

Положения, выносимые на защиту:

1. Повышение в донных отложениях концентрации нефтяных углеводородов и хлоридов ведет к уменьшению числа таксонов макрозообентоса.
2. Загрязнение донных отложений нефтяными углеводородами в концентрации свыше 400 мг/кг обуславливает сокращение общей биомассы макрозообентоса и средней массы особи в сообществе.
3. Уменьшение плотности двустворчатых моллюсков отражает увеличение концентрации нефтяных углеводородов в донных отложениях до экстремального уровня.
4. Наиболее толерантной к нефтяному загрязнению группой макрозообентоса является семейство хирономид.

Практическое значение. Результаты исследования существенно дополняют имеющуюся информацию по фауне и экологии донных беспозвоночных малых рек Удмуртии. Они важны при разработке критериев и нормативов оценки качества воды биологическими методами, при организации экологического мониторинга состояния водоемов в условиях интенсивного хозяйственного и промышленного освоения. Кроме того, полученные сведения могут быть использованы при подготовке учебно-методической литературы и чтении лекционных курсов по экологии и гидробиологии в высших и средних специальных учебных заведениях. Материалы диссертационной работы вошли в курс лекций по дисциплине «Экологическая токсикология» и используются для проведения лабораторных занятий со студентами специальности «Экология» УдГУ.

Апробация работы. Основные результаты работы были представлены на Межвузовской конференции молодых ученых и студентов «Актуальные медико-

биологические проблемы в современных условиях» (Ижевск, 2001), 5-й Российской университетско-академической научно-практической конференции (Ижевск, 2001), V Международной научно-практической конференции «Экология и жизнь» (Пенза, 2002), Всероссийской конференции молодых ученых «Экология: от генов до экосистем» (Екатеринбург, 2005), Всероссийской научной конференции «Современные аспекты экологии и экологического образования» (Казань, 2005), Всероссийской конференции молодых ученых «Экология в меняющемся мире» (Екатеринбург, 2006), XIV Всероссийской молодежной научной конференции «Актуальные проблемы биологии и экологии» (Сыктывкар, 2007), региональной научной конференции молодых ученых «Современные проблемы экологии, микробиологии и иммунологии» (Пермь, 2007).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 13 печатных работ, в том числе одна – в журнале перечня ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, обзора литературы (глава 1), физико-географического обзора исследуемой территории (глава 2), описания методики исследований (глава 3), изложения полученных результатов и их обсуждения (главы 4-6), заключения, выводов и приложений. Список литературы включает 205 источников, из них 23 на иностранных языках. Объем диссертации составляет 183 страницы, содержит 18 таблиц и 55 рисунков.

Благодарности. Автор выражает благодарность научному руководителю к.б.н., доценту, зав. кафедрой экологии животных УдГУ Н.Е. Зубцовскому за ценные консультации по всем разделам работы, помощь в планировании и аналитическом осмыслении материала; д.б.н., профессору Н.Г. Ильминских за помощь на начальных этапах работы; сотрудникам кафедры общей экологии и кафедры экологии животных УдГУ за ценные советы и моральную поддержку в ходе выполнения работы.

Особую признательность автор выражает хранителям коллекций ЗИН РАН В.Г. Власовой и И.Г. Ципленкиной, куратору малакологической коллекции Зоомузея ИЭРиЖ УрО РАН М.Е. Гребенникову и к.б.н., доценту Омского Государственного педагогического университета М.В. Винарскому, к.б.н., доценту кафедры экологии животных Удмуртского госуниверситета С.В. Дедюхину за помощь в определении отдельных групп бентоса; д.б.н., профессору кафедры ботаники и микологии МарГУ Н.В. Готову и старшему преподавателю кафедры ботаники и микологии МарГУ О.В. Жуковой за помощь в статистической обработке материала.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Обзор литературы

Проведен анализ данных литературы по воздействию нефтедобычи (нефти, высокоминерализованных пластовых вод, механического воздействия) на донные биоценозы пресных водоемов. Рассмотрены вопросы токсичности компонентов нефти и пластовых вод для организмов бентоса. Дан анализ возможных изменений структуры макрозообентоса при различной степени загрязнения вод и донных отложений.

Глава 2. Физико-географическая характеристика района исследований

В главе приведена природно-климатическая характеристика территории УР. Дано описание изучаемых водотоков по гидрологическим и гидрохимическим параметрам.

Глава 3. Материалы и методы

Сбор материала проводили с мая по октябрь 2001-2005 гг. на р. Вотка, Лоза, Нязь. Кроме того, в 2004-2005 годах были обследованы малые реки и ручьи на Ижевском, Мещеряковском, Бурановском, Гремихинском, Архангельском, Алексеевском, Никольском, Северо-Никольском и Ельниковском месторождениях нефти (м.н.). В 2007 г. был исследован макрозообентос нефтеловушек на реках Березовка и Докшанка. Все исследуемые реки относятся к бассейну реки Кама (рис.1).

За весь период исследований отобрано 365 количественных проб макрозообентоса, 100 проб донных отложений на определение содержания нефтяных углеводородов, 61 проба на определение хлорид-ионов и плотного остатка.

Сборы проб бентоса производили по стандартным методикам (Методические рекомендации..., 1984; Руководство по методам ..., 1988). Определение гидробионтов велось до вида, в случае невозможности надежного определения – до таксона более высокого ранга. При камеральной обработке собранных материалов рассчитывали численность, биомассу, долю отдельных групп бентоса по численности и биомассе, индекс сапробности по Пантле и Букку, вычисляли биотический индекс Вудивисса (Woodiwiss, 1964), а также его в модификации В.И. Пшеницыной (1986), индекс видового разнообразия Шеннона-Уивера (H), выравненность сообщества по Пиелу (Мэгарран, 1992), олигохетный индекс Гуднайта-Уитлея (Goodnight, Whitley, 1961). Коэффициент общности видового состава двух сообществ рассчитывали по Т. Серенсену (Sørensen, 1948).

Интегральную оценку экологического состояния водоемов проводили по методике Т.Д. Зинченко с соавторами (2000). Для расчета интегрального индек-

са экологического состояния (ИИЭС) используются следующие показатели: общая численность макрозообентоса, общая биомасса, число видов (таксонов) в пробе, индекс Шеннона-Уивера, биотический индекс Вудивисса, олигохетный индекс Пареле, а также концентрация нефтяных углеводов в грунте.

Рис. 1. Станции отбора проб макрозообентоса в УР

(– станции отбора проб)

Шкала загрязнения донных отложений нефтяными углеводородами была разработана на основании результатов химического анализа грунтов, граций И.Н. Брусониной и др. (1992) и Л.В. Михайловой (2001).

Уровни загрязнения донных отложений нефтью:

1. Слабое <50 мг/кг;
2. Умеренное 51- 400 мг/кг;
3. Экстремальное > 400 мг/кг.

При анализе данных вычисляли коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (r_s), проводили однофакторный дисперсионный анализ, модель I, множественные сравнения средних проводили с помощью Шеффе-теста (Глотов и др., 1982; Холендер, Вулф, 1983; Вуколов, 2004; Sokal, Rohlf, 1995). Значения показателей макрозообентоса преобразовывали с помощью логарифмирования. Проверку согласия наблюдаемых распределений признаков с нормальным проводили с помощью статистики Колмогорова-Смирнова (Шитиков и др., 2005). Применяли метод многомерной статистики – дискриминантный анализ (Юнкер, 2002). Использовали общепринятые обозначения:

$p < 0,05$ – *; $p < 0,01$ – **; $p < 0,001$ – ***.

При обработке данных использовали компьютерный пакет «Statistica 6.0».

Глава 4. Результаты исследования макрозообентоса малых рек Удмуртии

За период исследования на малых реках УР в составе макрозообентоса зарегистрирован 355 таксонов. Основу таксономического разнообразия составляли личинки насекомых (211 таксонов, в том числе ручейники – 58, поденки – 41, двукрылые – 46, веснянки – 13, стрекозы – 20, вислокрылки – 4, жуки – 29), моллюски (71 таксона, в том числе двустворчатые – 22 и брюхоногие – 49) и кольчатые черви (38 таксонов, в том числе олигохеты – 26 и пиявки – 12). На р. Вотке отмечено 122, р. Лоза – 178, р. Нязь – 204 таксона гидробионтов. За период с 2004 по 2006 гг. в исследованных реках, протекающих по территории месторождений нефти (м.н.) центральной части УР отмечено 107 видов и таксонов более высокого ранга, на исследованных реках южных м.н. – 109. В 2007 г. в районе нефтеловушки на р. Березовке отмечено 105 таксонов макрозообентоса, а в районе нефтеловушки на р. Докшанке – 50.

Сезонная динамика количественных показателей макрозообентоса определяется развитием доминирующих групп и зависит от ряда абиотических и антропогенных факторов. Так как условия развития макрозообентоса на малых реках подвержены значительным колебаниям, выявить общие тенденции динамики количественных показателей макрозообентоса на малых реках УР не удалось.

Глава 5. Влияние факторов нефтедобычи на структуру макрозообентоса

5.1. Загрязнение нефтяными углеводородами

Концентрация нефтепродуктов в донных отложениях реки Лоза возрастает вниз по течению (от 1,2 до 2,7 ПДК), при этом концентрация нефти в воде остается в пределах ПДК.

На реке Нязь максимальные уровни загрязнения донных отложений нефтепродуктами отмечаются в среднем течении (7,5 ПДК). В нижнем течении за счет процессов самоочищения этот показатель снижается в 1,6 раз (4,6 ПДК). Вода в данной реке, напротив, наиболее загрязнена в нижнем течении (2,2 ПДК).

Сильнейшему антропогенному прессу подвержена р. Вотка. Уже в верхнем течении концентрация нефтепродуктов в донных отложениях достигала 30,7 ПДК. В среднем течении загрязнение носит мозаичный характер, тем не менее, ПДК была превышена в среднем в 17,4 раза. На станциях №7-9 процессы само-

очистения преобладали над загрязнением, и концентрация нефти заметно снижалась – 1,5 ПДК (рис.2).

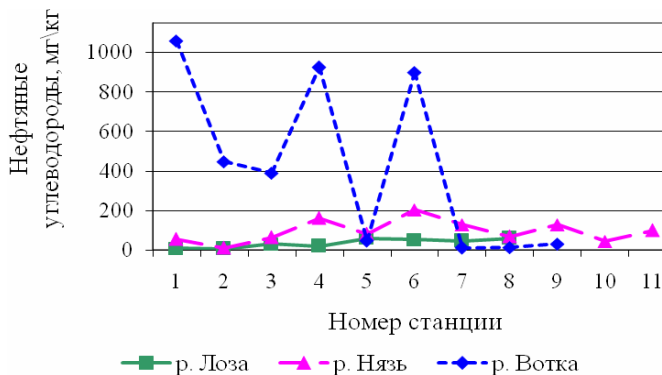


Рис. 2. Концентрация нефтяных углеводородов в донных грунтах рек Лоза, Нязь, Вотка

Из месторождений нефти центральных районов УР наиболее неблагоприятная экологическая обстановка складывается на Гремихинском и Бурановском. Донные отложения малых рек, протекающих в контуре месторождений, сильно загрязнены нефтепродуктами. Временами их концентрация на Гремихинском м.н. достигает 122 ПДК, а на Бурановском м.н. – 40,7 ПДК.

Превышения ПДК на месторождениях южной части республики по нефтепродуктам не зарегистрировано. На малых водотоках Алексеевского, Никольского и Северо-Никольского месторождений преобладают песчаные донные отложения, поэтому нефтепродукты в них задерживаются слабо. Кроме того, период их эксплуатации не превышает 15 лет. Только на Ельниковском месторождении отмечаются илистые и глинистые грунты, при этом концентрация нефтепродуктов в них достигает 15 ПДК, это соответствует сильному загрязнению.

Характер грунтов определяет не только распределение, обилие и видовой состав донных сообществ, но и степень адсорбции поллютантов. Поэтому воздействие нефтепродуктов на донные сообщества оценивались в зависимости от характера грунтов. Всего было выделено 4 типа грунта: илистый, глинистый, песчаный и галечный. Дискриминантный анализ показал статистически высоко значимые различия между характеристиками макрозообентоса (36 показателей) на четырех типах грунта ($p < 0,005$).

На основании расстояния Махаланобиса (PM) можно заключить, что наибольшее сходство в структуре макрозообентоса отмечалось между литореофильными и аргиллореофильными сообществами ($PM=2,48$), а максимальные

различия отмечались между аргиллореофильными и псаммореофильными сообществами ($PM=4,08$).

Структура макрозообентоса при загрязнении нефтью менялась следующим образом.

Максимальные изменения в структуре макрозообентоса малых рек отмечались при концентрации нефтепродуктов в донных отложениях свыше 400 мг/кг. При этом наблюдалось снижение видового разнообразия (общее число таксонов макрозообентоса) на всех типах грунта ($p < 0,05$) (рис. 3).

Это связано с исчезновением некоторых групп бентоса при экстремальном загрязнении: личинок ручейников семейства Hydropsychidae (ил, песок, галька), нимфы поденок семейства Heptageniidae (ил, галька, песок), семейства Caenidae (галька, песок), брюхоногие моллюски семейства Valvatidae (ил, галька, песок) и семейства Lymnaeidae (песок).

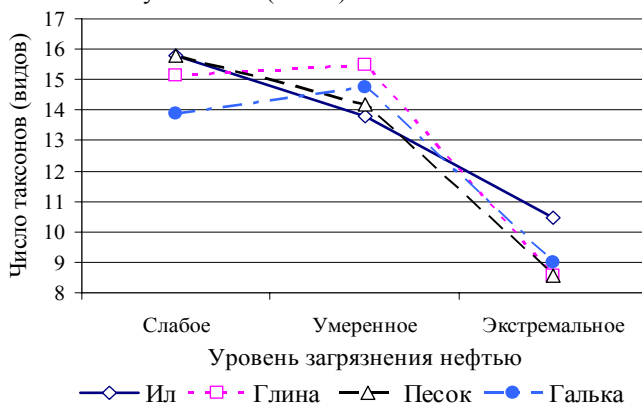


Рис. 3. Среднее количество видов макрозообентоса в пробе при разной степени загрязнения донных отложений нефтью

На илистых, глинистых и песчаных грунтах отмечалось статистически значимое снижение общей биомассы макрозообентоса. Она значимо сокращалась при экстремальном загрязнении на илистых в 5 раз (с 61,7 г/м² до 11,8 г/м²*), глинистых в 5 раз (с 24,3 г/м² до 4,9 г/м²**) и песчаных отложениях (с 105,9 г/м² до 2,1 г/м² **) в 49,8 раз. Общая плотность донных беспозвоночных при разной степени загрязнения статистически не различалась.

На всех типах грунта, за исключением песчаного, отмечалось статистически значимое уменьшение средней массы особи в сообществе, в среднем в 10 раз: на илах с 82 мг до 16,4 мг*; на глинистых грунтах с 14,8 мг при умеренном

загрязнении до 5,3 мг*** при экстремальном; на галечных грунтах с 36,3 мг при слабом загрязнении до 4,0 мг* при экстремальном (рис. 4)

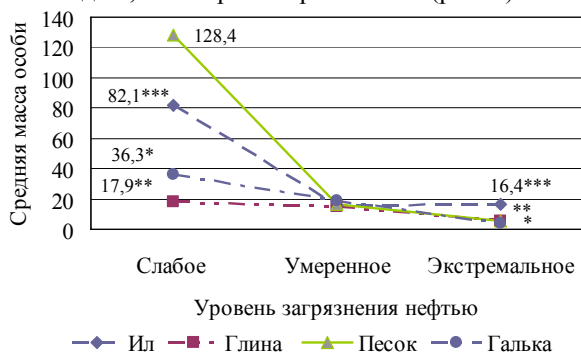


Рис. 4. Средняя масса особи в сообществе при загрязнении нефтью

Это связано с уменьшением в сообществе доли крупных организмов, чувствительных к загрязнению (моллюсков, личинок ручейников) и увеличением доли мелких организмов, способных быстро достигать высокой численности (личинки хирономид и олигохеты).

Наиболее уязвимыми организмами в бентоценозе оказались двустворчатые моллюски. Их доля по численности при экстремальном загрязнении значительно сокращалась на илистых (с 16,1%, 150,2 экз./м² до 4,5%, 68,6 экз./м² ($p < 0,001$)), глинистых (с 10,6%, 62,4 экз./м² до 0,9%, 5,1 экз./м² ($p < 0,05$)) и галечных грунтах (с 12,9%, 76,9 экз./м² до 0,6%, 9,9 экз./м² ($p < 0,05$)). На песках при экстремальном загрязнении встречались лишь единичные экземпляры двустворчатых моллюсков. Чувствительность данной группы к загрязнению доказывают также отрицательные коэффициенты корреляции между показателями двустворчатых моллюсков и углеводородами нефти в грунте (табл. 1).

Таблица 1

Результаты корреляционного анализа между показателями двустворчатых моллюсков и концентрацией углеводородов нефти в грунте

Показатель класса Bivalvia	Коэффициент корреляции Спирмена	
	Илистый грунт, n = 33	Песчаный грунт, n = 24
Численность, экз./м ²		-0,64***
Численность, %	-0,43*	-0,60**
Биомасса, %	-0,37*	-0,61**
Число таксонов в пробе		-0,67***

Общая численность брюхоногих моллюсков незначительно менялась на илистых грунтах, а на других биотопах заметно сокращалась при загрязнении.

Причем сокращение происходило за счет семейства прудовиков (Lymnaeidae) и за счет семейства затворок (Valvatidae), представители которых при сильном загрязнении отсутствовали на всех грунтах. Статистически значимая отрицательная связь между концентрацией нефти в грунте и численностью брюхоногих моллюсков отмечалась только на глинистых ($r_s = -0,49^{**}$, $n=34$) и песчаных грунтах (доля Valvatidae по численности $r_s = -0,43^*$, $n=24$).

В отряде поденок по встречаемости в пробах доминировали личинки семейства Baetidae (75%), поэтому они определяли количественные показатели всего отряда. Так как нимфы семейства Baetidae относятся в основном к фитореофилам и имеют слабую связь с донными отложениями, они оказались достаточно устойчивыми к росту концентрации нефти в грунте. Их количественные показатели незначительно менялись на илистых и песчаных грунтах, а на каменистых численность личинок даже возрастала (9,8%* до 29,6%*). Только в аргиллореофильных биоценозах, где велика численность поденок родов *Ephemera* и *Caenis*, отмечено достоверное уменьшение численности личинок при экстремальном загрязнении (с 18,2% 140,5 экз./м² до 4,1% ** 28,1 экз./м²*).

Численность ручейников незначительно сокращалась при загрязнении на всех типах грунта. Статистически значимые различия доли ручейников по численности слабо и экстремально загрязненных нефтью биотопов отмечены только на галечных грунтах (с 11,1%*, 97,4 экз./м² до 2,1%*, 27,0 экз./м²). Это можно объяснить присутствием в литореофильных сообществах преимущественно оксифильных видов ручейников (семейств Rhyacophilidae, Hydropsychidae, Goeridae), которые наиболее чувствительны к токсическому воздействию. Также в аргиллореофильных сообществах установлена слабая отрицательная связь между концентрацией нефти и количественными показателями ручейников (число видов ручейников $r_s = -0,34$; доля ручейников по численности $r_s = -0,38$; доля ручейников по биомассе $r_s = -0,36$).

На илистых грунтах отмечалось сокращение доли пиявок. Их доля по численности значимо сокращалась уже при умеренном загрязнении донных отложений нефтью (с 3,4% до 0,72%*), при дальнейшем загрязнении их доля становилась еще меньше (0,35%). Подобные тенденции не отмечались на других типах грунта, т.к. пиявки предпочитают стоячие или слаботекучие воды, где формируются илистые наносы. Чувствительность пиявок к нефтяному загрязнению в литературе не освещена, однако, по мнению Е.И. Лукина (1976), обилие пиявок зависит от количества пищи, в качестве которой выступают обитатели чистых вод.

Освободившуюся экологическую нишу занимали более устойчивые к нефтяному загрязнению личинки хирономид. При экстремальном загрязнении

нефтью их численность возрастала на илистых (с 30% 264,3 экз./м² до 42,7%* 883,0 экз./м²*) грунтах. Также на илах отмечалось увеличение численности хирономид подсемейства Prodiamesinae в сообществе при экстремальном загрязнении с 18,7 экз./м² до 148,7 экз./м²**. На галечных грунтах отмечалось увеличение плотности хирономид подсемейств Tanypodinae (с 34,1 экз./м² до 51,0 экз./м²*) и Chironominae (с 81,4 экз./м²* до 228,6 экз./м²*). Также значимо возрастала доля комаров-звонцов по биомассе на глинистых (с 6,4% при умеренном загрязнении до 24,1%** при экстремальном), галечных грунтах (с 3,5% при слабом загрязнении до 10,9%* при экстремальном) и илистых грунтах (с 5,3% при слабом загрязнении до 26,1%*** при экстремальном).

На илистых отложениях плотность олигохет при загрязнении нефтью практически не менялась. Одновременно отмечена отрицательная связь ($r_s = -0,43$; $n = 33$; $p < 0,05$) между долей олигохет по численности (коэффициент Гуд-найта-Уитлея) и концентрацией нефтяных углеводородов в грунте. Это может быть связано с ростом общей численности бентоса при экстремальном загрязнении.

На глинистых грунтах при экстремальном загрязнении значимо возрастала абсолютная (до 438,2 экз./м²*) и относительная численность олигохет, представленных семейством Tubificidae (с 7,9% до 32,9%**). В псаммореофильных сообществах плотность олигохет была стабильна при умеренном загрязнении и немного сокращалась при экстремальном. Лишь на галечных грунтах отмечалось статистически значимое сокращение плотности олигохет при умеренном (с 26,6%***, 226,2 экз./м²* до 13,3%***, 116,3 экз./м²*) и экстремальном загрязнении (с 13,3%*, 116,3 экз./м² до 7,5%*, 1,4 экз./м²**).

Дискриминантный анализ показал статистически высоко значимые различия характеристик макрозообентоса (12 показателей) на трех уровнях загрязнения донных отложений нефтью ($p < 0,004$).

Наибольшее сходство в структуре макрозообентоса отмечалось между слабо и умеренно загрязненными биотопами ($PM=0,59$), а расстояние Махаланобиса от первых двух уровней загрязнения до экстремального в плоскости канонических дискриминантных функций составляло 5,46 и 5,61 соответственно (рис.5). Наиболее значимыми факторами, определяющими расстояние между разными уровнями загрязнения в плоскости КДФ, были: доля по численности личинок хирономид подсемейств Tanypodinae и Prodiamesinae, доля личинок хирономид по массе, доля олигохет по массе, доля моллюсков семейства Valvatidae по численности, биотический индекс Вудивисса, биотический индекс Пшеницыной и число таксонов в пробе.

Таким образом, можно заключить, что загрязнение донных отложений малых рек нефтью вызывает заметную трансформацию донных сообществ, которая проявляется в изменении количественных и качественных показателей различных групп макрозообентоса.

Рис. 5. Положение сообществ макрозообентоса на биотопах с разным уровнем загрязнения нефтью в плоскости КДФ

5.2. Загрязнение воды и донных грунтов хлоридами высокоминерализованных пластовых вод

Одним из основных индикаторов загрязнения воды в результате нефтедобычи является содержание хлоридов (Баранова, 2005). Хлориды обладают высокой миграционной способностью. Это обусловлено хорошей растворимостью в воде, слабо выраженной способностью к сорбции взвесями, донными отложениями и практическим отсутствием накопления водными организмами. Хлориды необходимы для нормального существования живых организмов, в то же время, повышение их концентрации в воде вызывает нарушение метаболизма у гидробионтов.

Для водных объектов рыбохозяйственного назначения предельно допустимая концентрация (ПДК) хлоридов в воде – 300 мг/дм^3 , для объектов хозяйственно-питьевого и культурно бытового назначения ПДК – 350 мг/дм^3 . ПДК хлоридов для донных грунтов не разработана, поэтому степень опасности загрязнения донных грунтов оценивали по превышению ПДК для почв (РД 39-00147275-056-2000).

На нефтяное происхождение хлоридов указывает достоверная положительная корреляция между содержанием нефтяных углеводородов и концентрацией хлоридов в грунте ($r_s = 0,67$; $n = 57$; $p < 0,01$). Концентрация хлоридов в донных отложениях связана также с изменением общей минерализации (плотный остаток) грунтов ($r_s = 0,48$; $n = 47$; $p < 0,001$).

Степень удержания минеральных веществ в донных отложениях зависит от наличия в них органических частиц, а также гелеобразных пленок, состоящих из оксидов и гидроксидов железа и алюминия. Эти компоненты участвуют в образовании поглощающего комплекса донных отложений. Каменистые и песчаные грунты содержат очень мало органических веществ, поэтому концентрация неорганических ионов в них наименьшая (табл. 2).

Плотный остаток и концентрация хлоридов показывают степень засоления донных отложений. Несмотря на то, что неорганические ионы необходимы для нормального существования живых организмов, повышение их концентрации в окружающей среде вызывает нарушение метаболизма у пресноводных животных. Воздействия, которые неорганические соли оказывают на гидробионтов, в первую очередь, связаны с нарушением осморегуляции (Виноградов, 2000).

Таблица 2

Содержание хлоридов и плотного остатка в донных отложениях
разного типа

Показатель	Параметры	Тип грунта			
		Ил	Глина	Галька	Песок
Хлориды, % от сухой массы ДО	среднее	0,010	0,017	0,004	0,004
	min- max	0,002-0,108	0,002-0,154	0,002-0,009	0,002-0,007
Плотный остаток, % водн. вытяжки ДО	среднее	0,150	0,106	0,093	0,083
	min- max	0,040-0,761	0,034-0,238	0,07-0,118	0,04-0,128

При увеличении концентрации хлоридов в донных отложениях отмечалось сокращение числа видов (таксонов) макрозообентоса ($r_s = -0,55^{***}$; $n = 61$), снижение показателей индекса Шеннона ($r_s = -0,34^{**}$), биотических индексов Вудивисса ($r_s = -0,44^{***}$) и Пшеницыной ($r_s = -0,33^{**}$). Сокращение общего числа таксонов происходило за счет снижения числа видов брюхоногих ($r_s = -0,32^*$), двустворчатых моллюсков ($r_s = -0,26^*$) и ручейников ($r_s = -0,5^{***}$). Выявлена также слабая отрицательная корреляция между содержанием хлоридов в донных отложениях и долей олигохет семейства Lumbriculidae по численности ($r_s = -0,30^*$). В литературе есть сведения о том, что представители данного семейства не выносят даже солоноватую среду (Michaelson, 1902; Берг, 1922).

Повышение плотного остатка в донных отложениях отрицательно отражается на количественных показателях брюхоногих моллюсков (плотность Gastropoda $r_s = -0,31^*$; $n = 47$; доля семейства Lymnaeidae по численности $r_s = -0,45^{**}$; доля Gastropoda по биомассе $r_s = -0,39^{**}$).

На организмы макрозообентоса отрицательно воздействует повышение концентрации хлоридов, как в воде, так и в донных отложениях. Выявлена отрицательная связь между концентрацией хлоридов в воде и показателями личинок ручейников (число видов $r_s = -0,67***$; $n = 41$; плотность $r_s = -0,51***$; биомасса, % $r_s = -0,54***$; доля по численности $r_s = -0,60***$), показателями брюхоногих моллюсков (число видов $r_s = -0,43**$; плотность $r_s = -0,45**$), двустворчатых моллюсков (число видов $r_s = -0,40**$; плотность $r_s = -0,32*$; доля по численности $r_s = -0,40*$). Установлено уменьшение общей биомассы бентоса ($r_s = -0,34*$), уменьшение средней массы особи в сообществе ($r_s = -0,43**$), сокращение общего числа таксонов ($r_s = -0,36*$).

На всех изученных водотоках концентрация хлоридов в донных отложениях менялась от 0,001 до 0,156% сухой массы донных отложений. Для того чтобы проследить изменения гидробиологических показателей мы выделили три уровня загрязнения хлоридами:

1. Слабое: 0,001 – 0,005%;
2. Умеренное: 0,0051 – 0,01%;
3. Сильное: 0,011% и выше.

При увеличении концентрации хлоридов в донных отложениях $> 0,005\%$ отмечалась тенденция сокращения плотности брюхоногих моллюсков (экз./м²) с 31,4 до 7,0 и личинок ручейников с 50,2 до 24,8. Двустворчатые моллюски реагировали сокращением плотности с 90,5 экз./м² до 30,0 экз./м² и доли в сообществе по биомассе с 26,1% до 22,4%. При этом отмечался рост доли двукрылых по биомассе с 17,4% до 29,7%. Доля олигохет по численности почти не менялась, но сокращалась плотность от 137,7 экз./м² до 85,2 экз./м². Общая плотность хирономид сокращалась с 269,0 экз./м² до 188,9 экз./м², одновременно менялось соотношение долей подсемейств комаров-звонцов. Численность личинок подсемейства *Orthocladiinae* снижалась (от 7%, 81,0 экз./м² до 5,7%, 28,1 экз./м²), а *Tanypodinae* (с 6,6%, 51,4 экз./м² до 8,3%, 57,3 экз./м²) и *Prodiamesinae* (с 1,18%, 6,0 экз./м² до 2,43%, 12,6 экз./м²) – возрастала.

Увеличение концентрации хлоридов в донных отложениях свыше 0,01% отражалось в дальнейшем сокращении плотности ручейников (11,3 экз./м²), поденок с 112,3 экз./м² до 62,0 экз./м², исчезновении брюхоногих семейства *Valvatidae*, увеличении доли двукрылых семейства *Tabanidae* (с 0,95 до 1,56%). Освободившиеся экологические ниши занимали личинки хирономид и олигохеты, плотность которых увеличивалась в 3,4 и 2,4 раза соответственно. Доля личинок подсемейства *Orthocladiinae* по численности еще больше снижалась (4,2%, 14,3 экз./м²), а подсемейств *Tanypodinae* (17,2%, 391,7 экз./м²) и *Prodiamesinae* (2,68%, 116,7 экз./м²) – росла.

Слабо загрязненные хлоридами грунты статистически значимо отличались от умеренно загрязненных ($p < 0,05$) и сильно загрязненных ($p < 0,0001$) по числу таксонов в пробе. Показатели общей численности и биомассы макрозообентоса при разных уровнях загрязнения хлоридами статистически значимо не различались.

Таким образом, увеличение концентрации хлоридов в воде и донных отложениях, а также увеличение плотного остатка ведет к заметному упрощению структуры сообщества донных беспозвоночных, которое наиболее наглядно выражается в сокращении числа видов (таксонов).

5.3. Зарегулирование речного стока в результате строительства нефтеловушек

Нефтеловушка – устройство для улавливания нефти и нефтепродуктов из сточных вод предприятий. Часто нефтеловушки представляют собой запруды на реках, подверженных загрязнению нефтью.

На участках рек выше нефтеловушек из-за подпора воды наблюдается замедление течения (0,1 м/сек). Это способствует заилению русла и замене псаммореофильного сообщества на пелореофильное на р. Березовке и на псаммопелореофильное на р. Докшанке.

Выше нефтеловушки на р. Березовке по численности доминировали олигохеты (сем. Tubificidae) – 77%, по биомассе – олигохеты (37,8%) и личинки двукрылых (Chironomidae, Chaoboridae) (31,1%). На р. Докшанке доминировали личинки хирономид (34,4% численности, 47,9% биомассы) и двустворчатые моллюски (20% численности, 30,9% биомассы).

В прудах нефтеловушек отсутствие течения, повышенная температура воды и наличие макрофитов способствуют формированию фито-пелофильных биоценозов, а также увеличению общей численности и биомассы макрозообентоса (рис. 6).

В пруду нефтеловушки на р. Березовке по численности доминировали олигохеты (40,4%) и личинки хирономид (19,9%), по биомассе преобладали брюхоногие моллюски (38,4%) и личинки двукрылых (20%). На р. Докшанке по численности и по биомассе доминировали брюхоногие моллюски (26,3% и 34,1% соответственно). Заметную долю составляли также олигохеты (19,5% численности) и двустворчатые моллюски (22,4% биомассы).

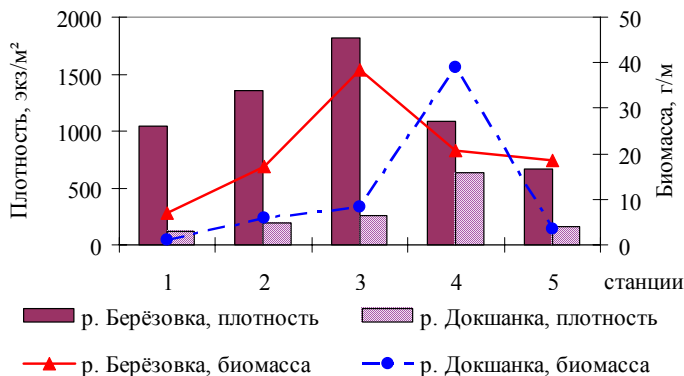


Рис. 6. Плотность и биомасса макрозообентоса в районе нефтеловушек в 2007 г.

Ниже нефтеловушек скорость течения заметно возрастает (0,23 м/сек), что способствует вымыванию мелкодисперсных грунтов и обнажению галечных наносов. На р. Берёзовке в этих условиях сформировался литореофильный биоценоз с доминированием личинок ручейников как по численности (37,8%), так и по биомассе (43,9%). На р. Докшанке основу численности составляли олигохеты (30,4%) и нимфы поденок (14,3%), по биомассе доминировали двустворчатые моллюски (25,6%) и личинки ручейников (13,9%).

Минимальное таксономическое сходство наблюдается между сообществами макрозообентоса выше и ниже нефтеловушки (станции №1 и №5). Коэффициенты сходства видового состава по качественным данным составляли 0,29 на Берёзовке и 0,1 на Докшанке, а по количественным данным — 0,2 и 0,05 соответственно.

По данным ОАО «УдмуртНИПИнефть», концентрация основных химических загрязнителей (нефтепродукты, хлориды, pH, нитриты, нитраты) в воде и донных отложениях на изученных нефтеловушках летом 2007 г. была в пределах ПДК. При аварийных утечках нефти концентрация нефтяных углеводородов в донных отложениях нефтеловушек будет значительно возрастать. В этом случае загрязнение нефтью будет выступать как лимитирующий фактор для развития донных организмов.

Таким образом, исследования макрозообентоса проведенные в районе нефтеловушек, показали, что при строительстве подобных гидротехнических сооружений происходит изменение естественных условий обитания водных организмов: скорости течения и характера донных грунтов. Это ведет к сукцессии водных сообществ, которая проявляется в изменении качественного и количественного состава донных гидробионтов. Происходит смена реофильных сооб-

ществ на лимнофильные. Аргилло-псаммореофильные сообщества сменяются фито - и пелофильными. Ниже нефтеловушек формируются литореофильные биоценозы.

Глава 6. Оценка состояния водотоков по показателям макрозообентоса (биоиндикация качества водной среды)

Для оценки состояния водотоков рассчитывали интегральный индекс экологического состояния (ИИЭС). Были получены следующие результаты.

На р. Лозе участки в районе станций № 2 (ниже плотины пруда заказника «Потерянный ключ») и № 3 (в районе моста по автодороге Якшур-Бодья – Старые Зятцы) имели низкие значения ИИЭС (2,7 и 2,5 соответственно), но к зоне экологического кризиса этот участок отнести нельзя, так как снижение биологических показателей обусловлено не антропогенными, а природными факторами. На станции № 2 отмечались очень низкие показатели индекса Шеннона-Уивера, общей численности и биомассы макрозообентоса, что объясняется неблагоприятными условиями для развития бентоса (песчаными грунтами и высокой скоростью течения – 0,67 м/сек). До станции № 3 река протекает через массив болот, вода насыщается гумусовыми кислотами (гуминовые и фульвокислоты). Повышение концентрации органических кислот в воде вызывает снижение численности, биомассы и числа видов макрозообентоса. Несмотря на то, что концентрация нефтяных углеводородов в донных отложениях постепенно возрастала от истоков к устью, остальные обследованные участки реки Лоза принадлежали к зоне относительного экологического благополучия.

Интегральная оценка выявила зону экологического кризиса на реке Нязь. Это участок расположен в окрестностях деревни Ляльшур Игринского района УР, где ведется активная нефтедобыча. Здесь наблюдалось значительное упрощение видовой структуры макрозообентоса с доминированием по численности личинок хирономид (в среднем 42%).

На реке Вотка зона экологического кризиса выявлялась уже в верхнем течении и распространялась вплоть до станции № 7 (д. Табанево, Шарканского района), и лишь станции № 8 и 9 находились в зоне относительного экологического благополучия.

Таким образом, показатели ИИЭС подтверждают данные химического анализа донных отложений, представленные в главе 5.1.

6.1. Связь между показателями биоиндикации и химическими параметрами среды

При увеличении концентрации хлоридов в донных отложениях отмечено

снижение показателей биотического индекса Вудивисса ($r_s = -0,44$; $n = 61$; $p < 0,001$), биотического индекса Пшеницыной ($r_s = -0,33$; $n = 61$; $p < 0,01$) и сокращение числа видов (таксонов) в пробе ($r_s = -0,55$; $n = 61$; $p < 0,001$). Статистически значимо увеличение индекса сапробности Пантле-Букка ($p < 0,01$) и снижение индекса Шеннона ($p < 0,01$) при сильном загрязнении донных отложений хлоридами.

Концентрация хлоридов в воде также отрицательно коррелирует с биотическим индексом Пшеницыной ($r_s = -0,36$; $n = 41$; $p < 0,05$), числом видов (таксонов) в пробе ($r_s = -0,36$; $n = 41$; $p < 0,05$) и средней массой особи в сообществе ($r_s = -0,43$; $n = 41$; $p < 0,01$).

Различные индексы по-разному отражают картину загрязнения нефтяными углеводородами в зависимости от типа донных грунтов.

Показатели олигохетного индекса Гуднайта-Уитлея значимо сокращались при загрязнении нефтью на илистых ($r_s = -0,43$; $n = 33$; $p < 0,05$) и галечных грунтах ($p < 0,01$). Увеличение показателя отмечалось только на глинистых грунтах ($p < 0,01$).

Значения индекса Шеннона статистически значимо сокращались при загрязнении донных отложений нефтью на илистых ($r_s = -0,48$; $n = 33$; $p < 0,01$), глинистых (с 2,09 до 1,51 бит/экз.***) и галечных грунтах (с 2,09 до 1,51 бит/экз***).

Показатели биотического индекса Вудивисса уменьшались при загрязнении не значимо. При этом индекс Вудивисса модифицированный В.И. Пшеницыной для условий средней Волги оказался в условиях Удмуртии наиболее чувствительным. В пелофильных ($r_s = -0,53$; $n = 33$; $p < 0,01$) и аргиллореофильных ($r_s = -0,39$; $n = 34$; $p < 0,05$) сообществах отмечена отрицательная корреляция отмеченного индекса с концентрацией нефти в грунте.

Одним из показателей, чутко реагирующих на повышение концентрации нефти в грунте, является средняя масса особи в сообществе, величина которой значимо уменьшалась на всех типах грунтов, за исключением песчаного, в среднем в 10 раз.

Выводы

1. За период исследования на малых реках Удмуртии зарегистрирован 355 видов и таксонов более высокого ранга макрозообентоса, представленных преимущественно личинками насекомых (211 таксонов), моллюсками (71 таксон) и кольчатыми червями (38 таксонов). На р. Лозе отмечено 178, на р. Нязь – 204, на р. Вотке – 122 таксона макрозообентоса.

2. При экстремальном загрязнении донных отложений малых рек нефтью (> 400 мг/кг) возрастает доля личинок хирономид по численности. Наиболее уязвимые организмы в макрозообентосе малых рек – двустворчатые моллюски. Их доля по численности сокращается при загрязнении нефтью на всех типах грунтов. На илистых, глинистых и песчаных грунтах отмечается снижение общей биомассы макрозообентоса.

3. При загрязнении донных отложений нефтью свыше 400 мг/кг и хлоридами свыше $0,0051\%$ сухой массы грунта происходит сокращение числа таксонов макрозообентоса.

4. При строительстве нефтеловушек происходит замедление скорости течения и заиливание речного дна. Это приводит к смене аргилло- и псаммореофильных сообществ на пело- и фитофильные. Ниже плотины нефтеловушек формируются литореофильные биоценозы с повышенным видовым разнообразием макрозообентоса.

5. В исследуемых реках выявлены отрицательные корреляции между концентрацией нефтяных углеводородов в донных отложениях и количественными показателями группы двустворчатых моллюсков (илистые, песчаные грунты), брюхоногих моллюсков (глинистые, песчаные), поденок (глинистые), ручейников (глинистые), олигохет (галечные).

6. Рост концентрации нефтяных углеводородов в донных грунтах приводит к изменению структуры бентоценоза, что проявляется в уменьшении значения биотического индекса Вудивисса в модификации Пшеницыной на глинистых и илистых грунтах; индекса разнообразия Шеннона-Уивера на илистых, глинистых и галечных грунтах и олигохетного индекса Гуднайта-Уитлея на илистых и галечных грунтах.

7. По значению интегрального индекса экологического состояния участок р. Нязь, расположенный в окрестностях деревни Ляльшур Игринского района УР, а также верхнее и часть среднего течения р. Вотки – д. Табанево Шарканского района можно отнести к зоне экологического кризиса. Остальные обследованные участки малых рек соответствуют зоне относительного экологического благополучия.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в журналах перечня ВАК

1. Холмогорова, Н. В. Динамика структуры макрозообентоса в условиях нефтяного загрязнения донных отложений малых рек Удмуртии / Н. В. Холмогорова // Вестник Томского государственного университета. – 2007. – № 304. – С. 187–190.

Публикации в других изданиях

1. Котеков, Б. Г. Биоиндикация пресноводных загрязнений методом анализа видовой структуры ихтиоценозов / Б. Г. Котеков, Н. В. Холмогорова // Тез. докл. 5-й Российской унив.-акад. науч.-практ. конф. – Ижевск, 2001. – С. 96–97.
2. Холмогорова, Н. В. К вопросу влияния антропогенной нагрузки на фауну ручейников / Н. В. Холмогорова // Актуальные медико-биологические проблемы в современных условиях: мат. межвуз. конф. молодых ученых и студентов, 10-13 апр. 2001 г. – Ижевск, 2001. – С. 52–53.
3. Котеков, Б. Г. Ихтиоценозы водоемов Удмуртии и их роль в биоиндикации водных загрязнений / Б. Г. Котеков, Н. В. Холмогорова // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология – Ижевск, 2001. – С.132–142.
4. Холмогорова, Н. В. Трансформация макрозообентоса малых рек Удмуртии под воздействием нефтедобычи / Н. В. Холмогорова // Экология и жизнь: сборник материалов V Международной науч.-практ. конф. – Пенза, 2002. – С. 321–322.
5. Котеков, Б. Г. Материалы по фауне и экологии беспозвоночных гидробионтов Березовского залива Воткинского пруда / Б. Г. Котеков, Н. В. Холмогорова // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология – Ижевск, 2003. – С.121–132.
6. Холмогорова, Н. В. Пространственная структура макрозообентоса реки Лоза / Н. В. Холмогорова // Седьмая научно-практическая конференция преподавателей и сотрудников УдГУ, посвященная 245-летию г. Ижевска: материалы конф. / отв. ред. В.А. Журавлев; УдГУ, Естеств. - гуманитар. науч. - образоват. комплекс. - Ижевск, 2005. - Ч. 2. - С. 197-200.
7. Холмогорова, Н. В. Влияние факторов нефтедобычи на фауну макрозообентоса малых рек Удмуртии / Н. В. Холмогорова // Экология от генов до экосистем: материалы конф. молодых ученых, 25-29 апреля 2005 г. / ИЭРИЖ УрО РАН. – Екатеринбург: Изд-во «Академкнига», 2005. – С. 310–313.

8. Холмогорова, Н. В. Пространственная структура макрозообентоса р. Нязь / Н. В. Холмогорова // Современные аспекты экологии и экологического образования: материалы Всерос. конф. 19-23 сентября 2005 г. – Казань, 2005. – С. 312–313.
9. Холмогорова, Н. В. Макрозообентос малых рек в условиях нефтедобычи / Н. В. Холмогорова // Экология в меняющемся мире: материалы конф. молодых ученых, 24-28 апреля 2006 г. / ИЭРиЖ УрО РАН. – Екатеринбург, Изд-во «Академкнига», 2006. – С. 252–253.
10. Дедюхин, С. В. Материалы к фауне жесткокрылых надсемейства Dryopoidea (Insecta, Coleoptera) Удмуртской Республики / С. В. Дедюхин, Н. В. Холмогорова // Вестник Удмуртского университета. - 2006. - 10. - С. 151-155.
11. Холмогорова, Н. В. Воздействие нефтяных углеводородов на сообщества донных беспозвоночных малых рек Удмуртии / Н. В. Холмогорова // Вестник Удмуртского университета. – 2007. – № 10. – С. 47–56.
12. Холмогорова, Н. В. Структурные изменения сообществ макрозообентоса малых рек Удмуртии при нефтяном загрязнении / Н. В. Холмогорова // Актуальные проблемы биологии и экологии: материалы докладов I (XIV) Всероссийской молодежной науч. конф. (Сыктывкар, Республика Коми, Россия, 3-6 апреля 2007 г.) – Сыктывкар, 2007. – С. 271-274.

